

ANALISIS TABUNG BULAT DI BAWAH BEBAN IMPAK AKSIAL BERBASIS METODE ELEMEN HINGGA UNTUK STRUKTUR OTOMOTIF

Ilyas Renreng¹⁾

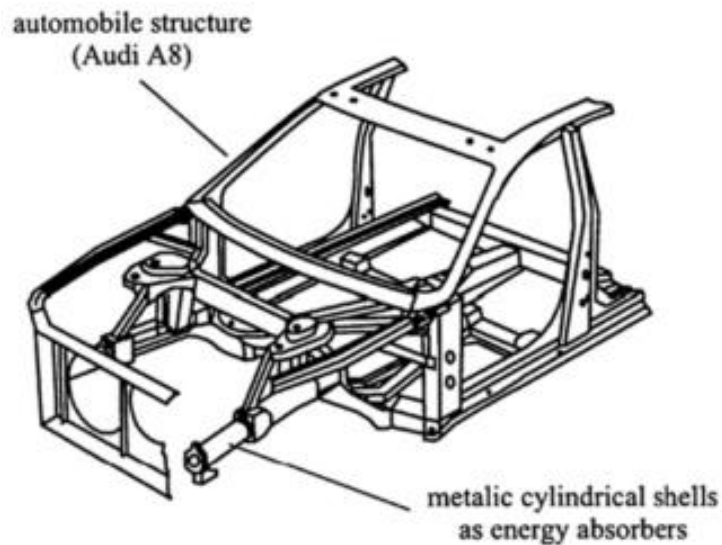
Abstrak: Kemampuan hancur dari tabung bulat berdinding tipis berbahan aluminium dibawah beban impak aksial telah dianalisis dalam penelitian ini. Jenis tabung bulat ini biasanya digunakan pada struktur kereta untuk menyerap tenaga akibat benturan. Untuk memodelkan dan menganalisa sifat crashworthiness digunakan metoda elemen hingga (MEH). Perangkat lunak yang diaplikasikan untuk metode elemen hingga. Parameter crashworthiness yang dievaluasi berupa penyerapan tenaga, penyerapan tenaga tertentu dan efisiensi daya hancur. Hasil numerik ini mengevaluasi tabung berdinding tipis berbahan paduan aluminium (AA6060-T4) dengan variasi variabel bebas yaitu variasi ketebalan dinding tabung, diameter dinding tabung dan kecepatan impak. Temuan utama adalah sifat hancur dari tabung bundar sebagai komponen keselamatan penumpang yang dipasang pada struktur depan untuk mengatasi tabrakan depan kerangka otomotif.

Kata Kunci: Tabung bulat, metode elemen hingga, aluminium, impak aksial, crashworthiness.

I. PENDAHULUAN

Dari sudut pandang keselamatan penumpang pada kereta cepat maka komponen penyerap tenaga akibat tabrakan sangat penting (Yamazaki, Han, 2000; dan Ferrer, Ivorra, Segovia, Irlles, 2010) dan dalam beberapa dekade ini penyerapan energi berupa lipatan pada tabung berbahan logam dianggap sebagai mekanisme yang sangat baik (Marzbanrad, Mehdikhanlo, Saeedi, 2010). Crashworthiness sebagai parameter untuk mengukur kemampuan suatu struktur seperti tubular yang berfungsi mencegah atau mengurangi cedera penumpang kendaraan akibat tabrakan (Abdollahpour, Marzbanrad, 2010). Struktur ini telah diaplikasikan secara luas dalam desain transportasi disebabkan sifat yaitu kekuatan tinggi, biaya rendah, kekakuan yang baik, dan daya serap energi yang tinggi (Hosseini pour, Daneshi, 2004). Dari pernyataan diatas maka perlu dipelajari karakteristik kemampuan menyerap tenaga dari tabung bulat dengan tes impak secara aksial. Sebagai tambahan, target aplikasi masa depan digunakan pada otomotif sebagai komponen keselamatan dari tabrakan (Hosseini pour, Daneshi, 2004) seperti yang terlihat pada gambar 1. Impak secara dinamis pada struktur berupa tabung berdinding tipis telah dipelajari selama dekade-dekade sebelumnya (Zarei, Kroger, 2006; Al Galib, Limam, 2004; Marzbanrad, Abdollahpour, Mashadi, 2009; Xu, Ma, Lim, Chu, 2009). Untuk material yang digunakan berupa material ringan yaitu aluminium karena memiliki kelebihan mengurangi berat kendaraan dibandingkan material konvensional yaitu baja (Zarei, Kroger, 2006).

¹⁾ Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin



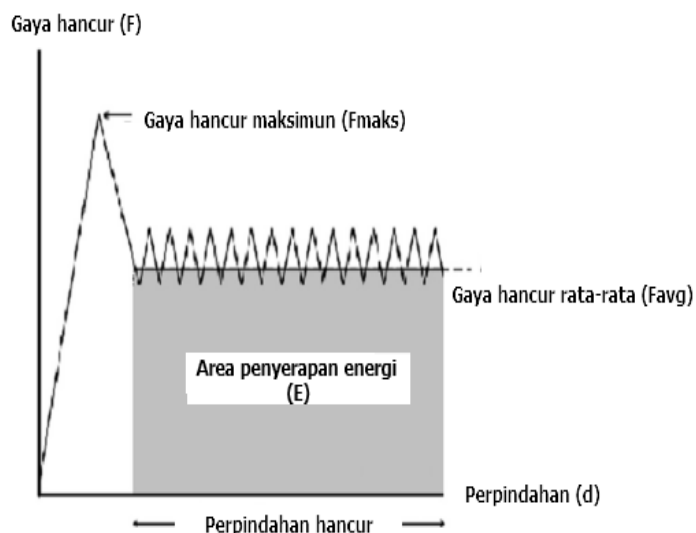
Gambar 1. Struktur otomotif dan komponen penyerap energi saat tabrakan/impak.

Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis karakteristik tabung bulat terhadap beban impact dinamis secara aksial dan untuk mengetahui efek dari variasi ketebalan dinding tabung, diameter tabung dan kecepatan impact. Hasil yang diperoleh ini dapat menjadi informasi awal untuk peneliti atau designer untuk merencanakan struktur keselamatan untuk kendaraan khususnya kereta berkecepatan tinggi.

II. METODOLOGI PENELITIAN

A. Parameter *Crashworthiness*

Ada beberapa parameter untuk menentukan kemampuan penyerapan energi pada struktur yaitu total penyerapan energi, penyerapan energi spesifik dan efisiensi total dari penyerapan energi seperti terlihat pada gambar 2.



Gambar 2. Kurva gaya hancur dan perpindahan (Tarlochan, Samerb, Hamoudac, Rameshd, Karam, 2013)

Total energi yang diserap, E pada struktur yang hancur berada pada daerah dibawah kurva gaya hancur-perpindahan yaitu,

$$E = \int_0^d F ds \quad \dots (1)$$

dimana F adalah gaya hancur dengan fungsi perpindahan hancur. Sedangkan SEA menunjukkan energi yang diserap (E) per satuan massa (M) dari struktur sebagai berikut:

$$SEA = \frac{E}{M} \quad \dots (2)$$

Sedangkan gaya hancur rata-rata adalah salah satu parameter untuk mengukur respon kemampuan daya serap struktur dengan persamaan sebagai berikut :

$$F_{avg} = \frac{E}{d} \quad \dots (3)$$

Efisiensi gaya hancur dapat ditentukan sebagai rasio dari gaya hancur rata-rata per gaya hancur maksimum atau dapat dituliskan dalam bentuk persamaan :

$$CFE = \frac{F_{maks}}{F_{avg}} \quad \dots (4)$$

B. Geometri tabung bulat

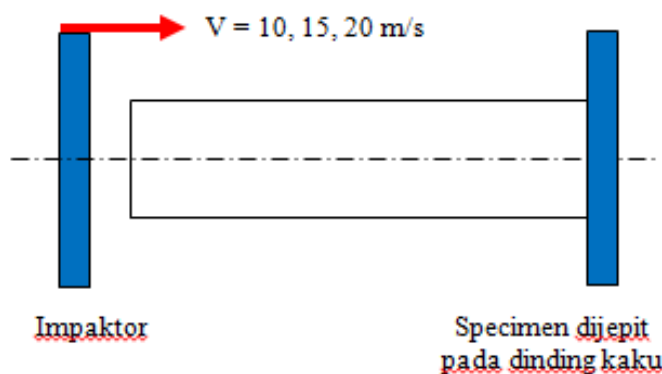
Geometri tabung bulat dapat dilihat pada table 1 dengan perbedaan variabel ketebalan dinding tabung, diameter dinding tabung dan kecepatan impact.

Tabel 1. Geometri tabung

Panjang (mm)	Tebal (mm)	Diameter (mm)	Kecepatan impact (m/s)
100	2, 2.5, 3	45, 50, 55	10, 15, 20

C. Model Elemen Hingga

Gambar 3 merupakan skema tabung bulat dibawah beban impact dinamik secara aksial yang diasumsikan sebagai komponen penyerap tenaga pada kereta cepat. Komponen ini diletakkan pada bagian depan atau moncong dari kereta. Spesimen penelitian ini disesuaikan dengan ASTM E208 dengan panjang 100 mm.



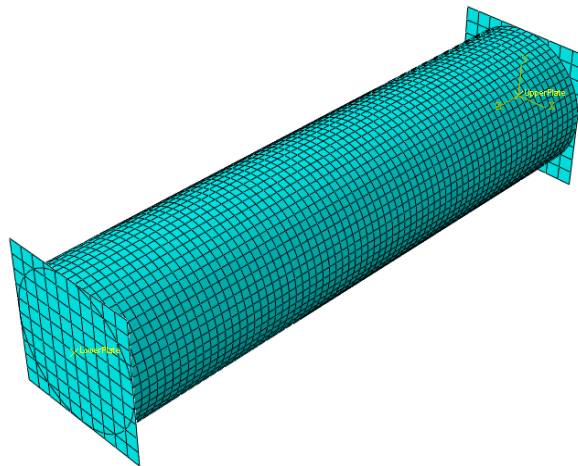
Gambar 3. Skema impact dinamik dari tabung bulat

Sebuah dinding kaku sebagai impaktor diasumsikan menabrak tabung bulat pada kecepatan awal berbeda yaitu 10, 15 dan 20 m/s dari arah sumbu x. Sedangkan pada ujung tabung dijepit dengan derajat kebebasan berupa perpindahan rotasi tetap sedangkan perpindahan translasi bebas. Dalam

menganalisis dengan metode elemen hingga tabung bulat aluminium maka perangkat lunak yang digunakan seperti pada Gambar 3. Model dinding tabung berupa elemen shell dengan kontinum empat simpul. Sedangkan ukuran mesh adalah 2 mm. (Tarlochan, Samerb, Hamoudac, Rameshd, Karam, 2013). Sedangkan model untuk impaktor dan dinding kaku berupa elemen shell planar dengan ukuran mesh yang sama dengan struktur tabung. Untuk data dari sifat-sifat material tabung berdinding tipis yang mana terbuat dari aluminium paduan AA6060 T4 (Marzbanrad, Ebrahimi, 2011) yang diiput pada perangkat lunak dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Sifat Mekanik dari Aluminium paduan AA6060 T4

Berat jenis (kg/m^3)	2700
Modulus Young (GPa)	60.2
Poisson rasio	0.3
Tegangan awal (MPa)	184.4
Tegangan maksimum (MPa)	215.5

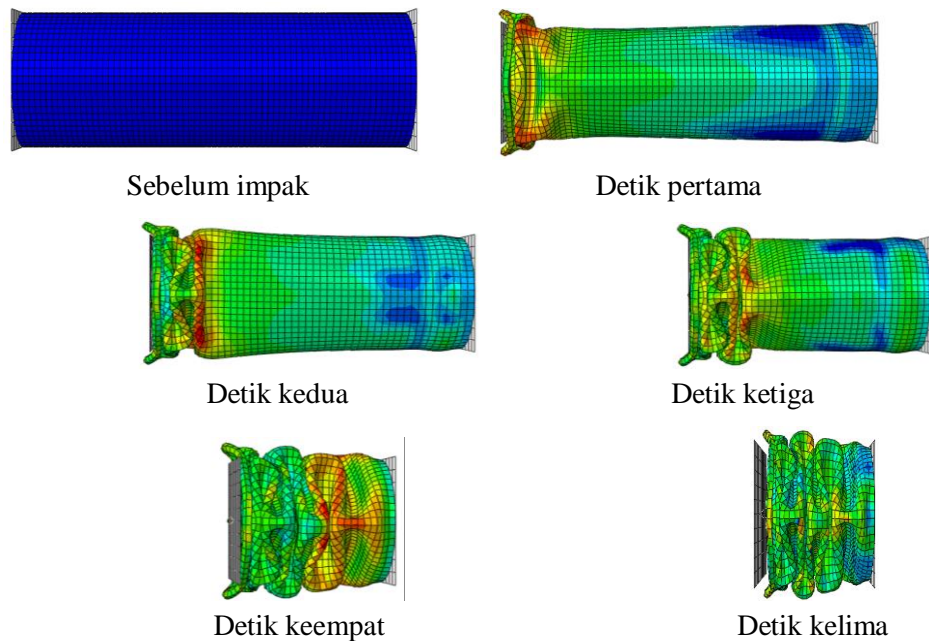


Gambar 4. Pemodelan tabung bulat

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Bentuk deformasi

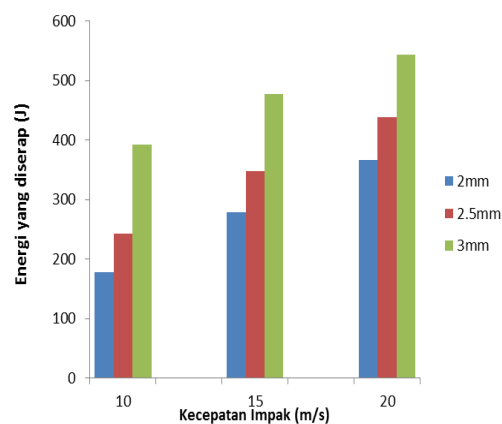
Dalam penelitian ini, bentuk deformasi tabung bulat kosong dibawah beban dinamik aksial telah diamati. Simulasi ini menerapkan kecepatan impak yaitu 10 m/s, 15 m/s dan 20 m/s. Pada saat kecepatan impak diterapkan, maka terbentuk lipatan pada dinding tabung dimana lipatan ini berfungsi sebagai penyerap energi. Untuk beban dinamis, lipatan dimulai pada ujung tabung yang pertama menerima impak seperti yang terlihat pada gambar 5. Fenomena ini disebut tekuk plastik dinamis yang timbul karena efek inersia yang berkaitan dengan pengaruh kecepatan tinggi dan kondisi sesuai prediksi oleh analisis elemen hingga peneliti lain (Mantena, Mann, 2003). Periode deformasi dipengaruhi oleh kecepatan impak diaplikasikan. Pada saat kecepatan meningkat maka waktu yang dibutuhkan untuk model untuk mencapai pola deformasi akhir akan menurun. Semua model mode deformasi terjadi sama.



Gambar 5. Bentuk deformasi tabung bulat dengan periode perubahan bentuk 5 detik

B. Pengaruh ketebalan dinding

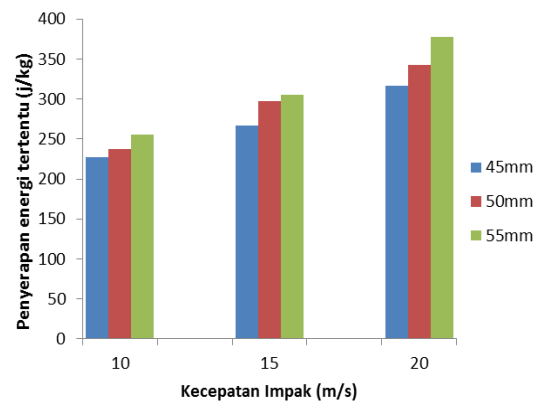
Hasil analisis untuk setiap ketebalan dengan kecepatan impact yang berbeda memberikan tren yang sama yaitu dengan peningkatan ketebalan dinding akan meningkatkan kemampuan penyerapan energi untuk model tabung kosong. Pengaruh ketebalan pada penyerapan energi dari sebuah tabung kosong di bawah dampak kecepatan 10 m/s, 15 m/s dan 20 m/s ditunjukkan pada Gambar 6. Gambar tersebut menunjukkan bahwa 2 mm ketebalan model memiliki kemampuan penyerapan energi terendah antara lain. Kinerja tabung ditingkatkan dengan menambahkan ketebalan dinding tabung Gambar 6 menunjukkan kapasitas penyerapan energi dalam berbagai ketebalan dinding tabung kosong pada panjang, dan diameter tabung konstan yaitu 100mm dan 45mm. Dari gambar tersebut dapat diasumsikan bahwa dengan ketebalan dinding tabung maka akan memberikan efek yang signifikan untuk parameter kemampuan penyerapan energy pada tabung bulat.



Gambar 6. Pengaruh ketebalan dinding tabung terhadap energi yang diserap.

C. Pengaruh diameter tabung

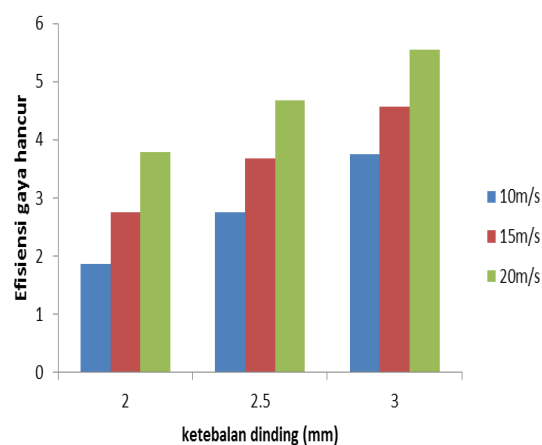
Di sisi lain, pada gambar 7 peningkatan diameter tabung tidak memberikan efek yang signifikan terhadap penyerapan tenaga tertentu (SEA). Dengan mengacu pada Gambar 7, penyerapan energi tertinggi diperoleh pada kecepatan impaktor 20 m/s dengan diameter 55 mm, dan kemudian kemampuan penyerapan energi berkurang seiring dengan penurunan kecepatan impak dan diameter tabung. Perbedaan antara SEA maksimum dan minimum sebesar 12 % untuk nilai penyerapan energi tertentu.



Gambar 7. Pengaruh diameter dinding tabung terhadap penyerapan energi tertentu

D. Pengaruh kecepatan impaktor

Efek kecepatan dimodifikasi untuk melihat variasi geometri berupa ketebalan dinding tabung dalam efisiensi gaya hancur dari model. Tiga kecepatan impaktor yang berbeda masing-masing 10, 20 dan 30 m/s. Hasil yang diperoleh ditunjukkan pada Gambar 8. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan efisiensi gaya hancur ketika kecepatan impaktor meningkat. Gaya hancur maksimum meningkat dengan bertambahnya kecepatan impaktor. Demikian pula gaya hancur rata-rata meningkat secara simultan dengan peningkatan kecepatan impak dari impaktor. Karakteristik ini menguntungkan dalam desain *crashworthiness* yang menuntut energi maksimum diserap dalam lingkungan tabrakan kecepatan tinggi.



Gambar 8. Pengaruh kecepatan impaktor terhadap efisiensi gaya hancur

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan tujuan penelitian serta hasil dan pembahasan penelitian, maka dapat disimpulkan:

1. Penyerapan energi meningkat secara signifikan sebagai akibat ketebalan dinding tabung dan kecepatan impaktor sedangkan diameter tidak memberikan pengaruh yang signifikan untuk beban aksil dinamis.
2. Penelitian ini dapat memberikan informasi awal untuk pengembangan dan desain komponen keselamatan pada kereta berkecepatan tinggi sehingga akan meminimalisir kematian atau cedera berat pada penumpang akibat dari tabrakan.

V. DAFTAR PUSTAKA

- Abdollahpour A, Marzbanrad J. Crashworthiness study of axial impact in cylindrical aluminum tubes. *Journal of Mechanical Engineering* 2010;61(1): 1–17.
- Al Galib D, Limam A. Experimental and numerical investigation of static and dynamic axial crushing of circular aluminum tubes. *Thin-Walled Structures* 2004;42(8):1103–37.
- Ferrer B, Ivorra S, Segovia E, Irles R. Tridimensional modelization of the impact of a vehicle against a metallic parking column at a low speed. *Engineering Structures*, in press, corrected proof, available online 31 March 2010.
- Hosseiniipour SJ, Daneshi GH. Experimental studies on thin-walled grooved tubes under axial compression. *Experimental Mechanics* 2004;44:101–8.
- Mantena PR, Mann R. Impact and dynamic response of high-density structural foams used as filler inside circular steel tube. *Compos Struct* 2003;61(4): 291–302.
- Marzbanrad J, Abdollahpour A, Mashadi B. Effects of triggering of circular aluminum tubes on crashworthiness. *International Journal of Crashworthiness* 2009;14(6):591–9.
- Marzbanrad J, Ebrahimi MR. Multi-objective optimization of aluminum hollow tubes for vehicle crash energy absorption using a genetic algorithm and neural networks. *Thin-Walled Structures* 2011;49:1605–1615.
- Marzbanrad J, Mehdikhanlo M, Saeedi Pour A. An energy absorption comparison of square, circular and elliptic steel and aluminum tubes under impact loading. *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences* 2010;33:159–66.
- Tarlochan F, Samerb F, Hamoudac AMS, Rameshd S, Karam K. Design of thin wall structures for energy absorption applications: enhancement of crashworthiness due to axial and oblique impact forces. *Thin Walled Struct* 2013;71:7–17.

27 Ilyas Renreng, *Analisis Tabung Bulat di bawah Beban Impak Aksial Berbasis Metode Elemen Hingga untuk Struktur Otomotif*

Xu X, Ma J, Lim CW, Chu H. Dynamic local and global buckling of cylindrical shells under axial impact. *Engineering Structures* 2009;31(5):1132–40.

Yamazaki K, Han J. Maximization of the crushing energy absorption of cylindrical shells. *Advances in Engineering Software* 2000;31(6):425–34.

Zarei HR, Kroger M. Multiobjective crashworthiness optimization of circular aluminum tubes. *Thin-Walled Structures* 2006;44:301–8.